

---

*Bieske, Karin :*

***Wahrnehmung von Farbunterschieden von Licht- und  
Körperfarben***

---

*Publikation entstand im Rahmen von:*

Licht und Lebensqualität 2007 : eine Tagung der Deutschen  
Lichttechnischen Gesellschaft e.V., 19. - 20.04.2007, Lüneburg ;  
LiLe 2007

# Wahrnehmung von Farbunterschieden von Licht- und Körperfarben

*Karin Bieske, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik*

## 1 EINLEITUNG

Dynamische Beleuchtungskonzepte erlauben die zeitliche Variation des Beleuchtungsniveaus und der spektralen und räumliche Lichtverteilung. Durch die Dynamisierung der Beleuchtung sind Auswirkungen sowohl auf die visuelle Wahrnehmung als auch auf biologische Prozesse und die emotionale Lichtwirkung zu erwarten. Der Entwurf von Steuerstrategien setzt grundlegende Kenntnisse über die quantitative und qualitative Wirkung des Lichtes im Hinblick auf das Beleuchtungsniveau und die Lichtfarbe, deren zeitliche Modulation und das Farberscheinungsbild voraus. Inhalt dieses Beitrags ist die visuelle Wahrnehmung von Farbunterschieden, die durch Variationen in der Lichtfarbe hervorgerufen werden. Schwerpunkte sind dabei der Zusammenhang zwischen bevorzugter Lichtfarbe und Beleuchtungsniveau und die Ermittlung von Schwell- und Toleranzwerten für Lichtfarbensprünge.

## 2 VERSUCHSAUFBAU UND METHODIK

Die durchgeführten Untersuchungen erfolgten unter Laborbedingungen, die den Vorteil haben, dass die meisten Einflussgrößen erfassbar und vor allem stabil sind.

Die Untersuchungen fanden in einem Lichtsimulator statt, dessen Grundfläche eine Größe von 80 x 130 cm<sup>2</sup> hat und in dem als Lichtquellen sechs symmetrisch angeordnete RGB-Leuchtstofflampen verwendet wurden (Abbildung 1). Die Steuerung von Beleuchtungsniveau, Lichtfarbe und Farbort erfolgte digital über das DALI Protokoll (**D**igital **A**ddressable **L**ighting **I**nterface) mit einem PC. Auf diese Weise war es möglich, Beleuchtungsniveaus zwischen 300 lx bis 1000 lx auf einer Arbeitsfläche von 60 x 80 cm<sup>2</sup> mit einer maximalen Abweichung von 2 % zu realisieren und auf definierten Farbkurven zwischen 3000 K und 10000 K mit einem mittleren Farbabstand von  $\Delta u'v' = 0,001$  zwischen dem Ist-Farbort und dem Soll-Farbort zu variieren [Kalt05].

Durch zahlreiche Parametervariationen und mehrmalige Wiederholungen wurden umfangreiche Versuchsreihen realisiert. Die Teilversuche erfolgten mit 21 bis 25 Probanden in alters- und geschlechtsgemischten Versuchsgruppen. Die erhobenen umfangreichen Daten wurden mittels statistischer Verfahren analysiert und zu Ergebnissen zusammengefasst.



Abbildung 1: Aufbau und Einsatz des Lichtsimulators

### 3 UNTERSUCHUNGEN

#### 3.1 Zusammenhang zwischen Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe

Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Beleuchtungsniveau und der bevorzugten Lichtfarbe wurden den Probanden für die Beleuchtungsniveaus 300 lx, 500 lx und 1000 lx Lichtfarben mit Farbtemperaturen<sup>1</sup> im Bereich zwischen 3000 K und 8100 K in Abstufungen von  $\Delta CCT = 300$  K entlang des Planckschen Kurvenzuges dargeboten. Dabei wurde sich an dem Farbtemperaturbereich verfügbarer Lampen und an typischen Beleuchtungsniveaus für Arbeitsplätze orientiert. Von den Versuchspersonen wurde jeweils die angenehmste Lichtfarbe auf der Arbeitsfläche ausgewählt. Ausgangsbedingungen waren die Farbtemperaturen 3000 K und 8100 K, um den Einfluss der Adaptationsbedingungen einschätzen zu können. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse.

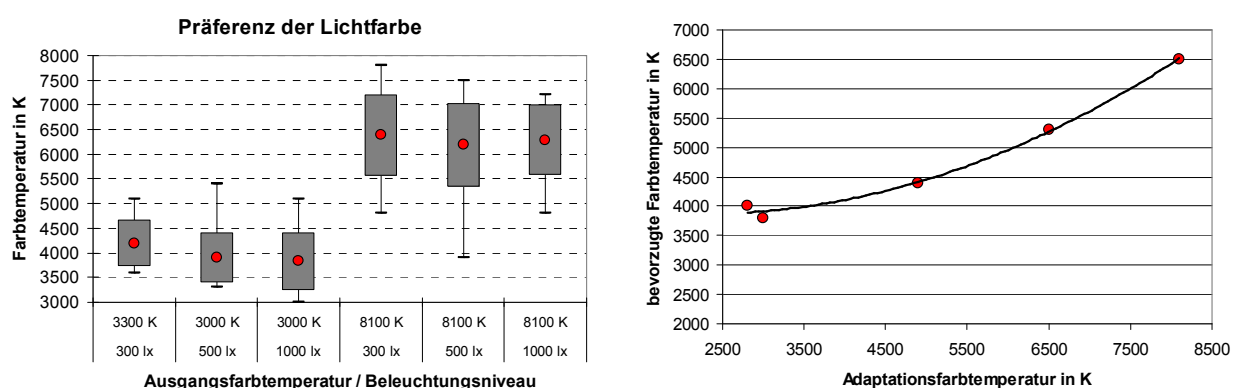


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen den Adaptationsbedingungen und der Wahl der bevorzugten Lichtfarbe (Maximalwert, Mittelwert mit  $\pm 1$  Standardabweichung, Minimalwert), 21 Probanden (links) Zusammenhang zwischen den Adaptationsbedingungen und Wahl der bevorzugten Lichtfarbe unter Einbeziehung weiterer Untersuchungen [HaTr06], [Bies05] (rechts).

<sup>1</sup> Der Begriff der Farbtemperatur wird in diesem Beitrag im Sinne der ähnlichsten Farbtemperatur gebraucht.

Es zeigt sich, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und der bevorzugten Lichtfarbe gibt, die Wahl der gewünschten Lichtfarbe jedoch stark von den Ausgangsbedingungen beeinflusst wird. Im Bereich zwischen 3000 K und 8000 K kann der Zusammenhang zwischen der bevorzugten Farbtemperatur ( $CCT_{\text{bevorzugt}}$ ) und der Adaptationsfarbtemperatur ( $CCT_{\text{adapt}}$ ) sehr gut mit einem Polynom 2. Grades mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,995 beschrieben werden:

$$CCT_{\text{bevorzugt}} \approx 8 \cdot 10^{-5} \cdot CCT_{\text{adapt}}^2 - 0,3474 \cdot CCT_{\text{adapt}} + 4260 \text{ K} \quad (1)$$

In den Versuchsreihen wurden die Erkenntnisse von Kruithof [Kru41], wonach bei niedrigen Beleuchtungsniveaus niedrigere Farbtemperaturen bevorzugt werden und bei höheren Beleuchtungsstärken höhere Farbtemperaturen angenehmer sind, nicht bestätigt. Ähnliche Widersprüche fanden auch Polle [Pol05] und Han [Han03]. Sie kamen zu dem Schluss, dass der akzeptierte Beleuchtungsstärkebereich zwischen zu hell und zu dunkel im Farbtemperaturbereich zwischen 3000 K und 6500 K stabil ist und minimal 300 lx bis maximal 900 lx beträgt.

Folglich lässt sich die bevorzugte Lichtfarbe nicht eindeutig definieren und es sollte daher mit der Beleuchtung ein Lichtfarbenbereich realisierbar sein. Unter dem Gesichtspunkt des Gefallens und der bevorzugten Wahl liegt der Variationsbereich für die Farbtemperatur im Mittel zwischen 3800 K bis 6500 K, aber es werden auch Werte von 3000 K und 7800 K akzeptiert. Folglich ist eine Farbtemperaturbereich zwischen 3000 K und 8000 K sinnvoll. Ob höhere Farbtemperaturen akzeptiert werden, kann aus diesen Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Möglicherweise werden auch höhere Farbtemperaturen nach ausreichender Adaptation nicht abgelehnt.

### 3.2 Schwellen- und Toleranzwerte von Lichtfarbensprüngen

Ziel der Untersuchung war die Bestimmung von merkbaren und tolerierbaren Änderungen in der Lichtfarbe bei der sprunghaften Variation der Lichtfarbe, ausgehend von gewählten Farbörtern, entlang des Planckschen Kurvenzuges und der Juddschen Geraden für ausgewählte Farbtemperaturen und verschiedene Beleuchtungsniveaus.

#### 3.2.1 Variation der Lichtfarbe entlang des Planckschen Kurvenzuges

Die Untersuchung auf dem Planckschen Kurvenzug erfolgte für die Lichtfarben 3000 K, 3300 K, 3700 K, 4200 K, 4700 K, 5200 K, 5700 K und 6700 K für die Beleuchtungsniveaus 300 lx, 500 lx und 1000 lx. Dafür wurde bei gleichbleibendem Beleuchtungsniveau die Lichtfarbe sprunghaft von einer Ausgangssituation hin zu niedrigeren und höheren Farbtemperaturen geändert und die Wahrnehmungsschwelle für die Kriterien „gerade erkannt“, „sicher gesehen“ und als

„störend empfunden“ bestimmt. Die Befragungen erfolgten mit 21 Probanden im Alter von 23 bis 73 Jahren in einem homogen ausgeleuchteten Bereich mit jeweils zwei Wiederholungen.

Da sich die Schwell- und Toleranzwerte für die einzelnen Beleuchtungsniveaus nicht signifikant unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, dass keine Unterschiede im Bereich zwischen 300 lx und 1000 lx existieren und die Daten für weitere Auswertungen für alle Beleuchtungsniveaus zusammengefasst werden können. Abbildung 3 stellt die auf diese Weise bestimmten Werte als Funktion der Farbtemperatur im CIE-u'v'- und CIE-LAB-System dar. Die Berechnung der Farbabstände im CIE-u'v'-System bei gleichbleibender Leuchtdichte wurde nach Gleichung (1) berechnet. Die Transformation der Daten in den CIE-LAB 1975-System erfolgte nach Gleichung 2 gemäß [DIN79]. Als Bezugsquelle diente dabei jeweils die Ausgangssituation.

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_2 - u'_1)^2 + (v'_2 - v'_1)^2} \quad \begin{array}{l} u'_1, v'_1 \text{ Bezugslichtfarbe} \\ u'_2, v'_2 \text{ bewertete Lichtfarbe} \end{array} \quad (1)$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2} \quad \begin{array}{l} a^*_1, b^*_1, L^* \text{ Bezugslichtfarbe} \\ a^*_2, b^*_2, L^* \text{ bewertete Lichtfarbe} \end{array} \quad (2)$$

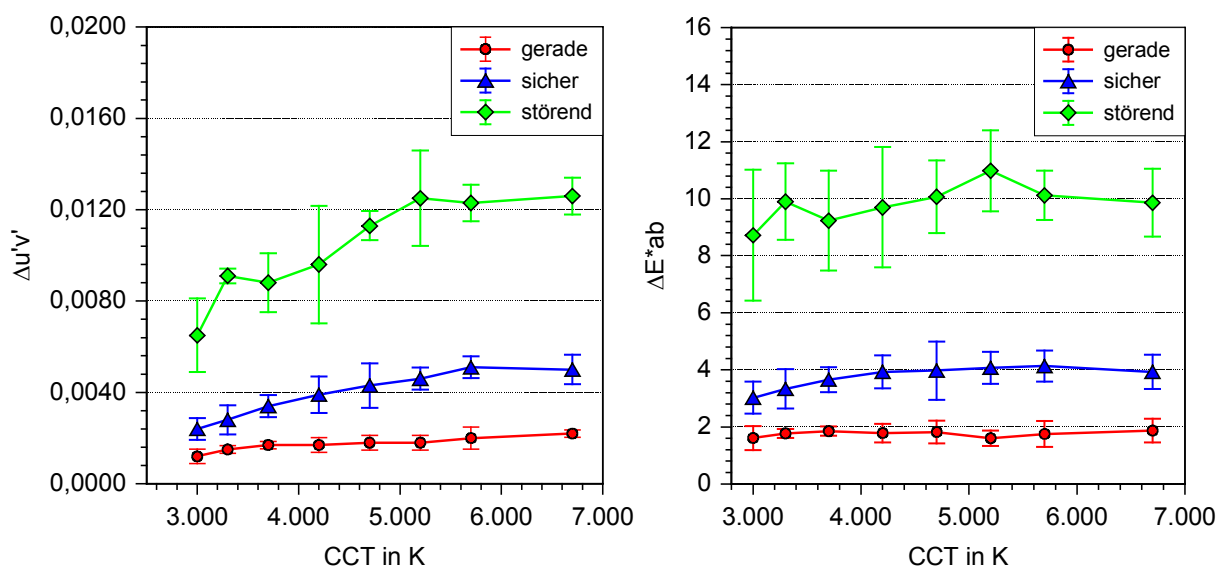


Abbildung 3: Variation auf dem Planckschen Kurvenzug - zusammengefasste Daten über alle Beleuchtungsniveaus und Variationsrichtungen für die Kriterien „gerade erkannt“, „sicher gesehen“ und „störend empfunden“ in Abhängigkeit von der Farbtemperatur im CIE-u'v'-System (links) und im CIE-LAB-System (rechts)

Die statistische Überprüfung erbrachte den Nachweis, dass sich der Farbabstand  $\Delta u'v'$  für alle Bewertungskriterien mit der Farbtemperatur ändert, im CIE-LAB-System jedoch unabhängig ist. Als mittlere Farbabstände  $\Delta E^*_{ab}$  wurden für die einzelnen Bewertungskriterien die in Tabelle 1 angegebenen Werte bestimmt.

Kriterium	<i>gerade erkannt</i>	<i>sicher gesehen</i>	<i>störend empfunden</i>
$\Delta E^*_{ab}$	1,8	3,8	9,8

Tabelle 1: Schwellen- und Toleranzwerte für die Erkennung von Farbunterschieden bei der Variation entlang des Planckschen Kurvenzuges, 21 Probanden

Auf der Basis dieser Werte ist es nun möglich, die Farbabstände im CIE-u'v'-System für die einzelnen Farbtemperaturen zu berechnen. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt.

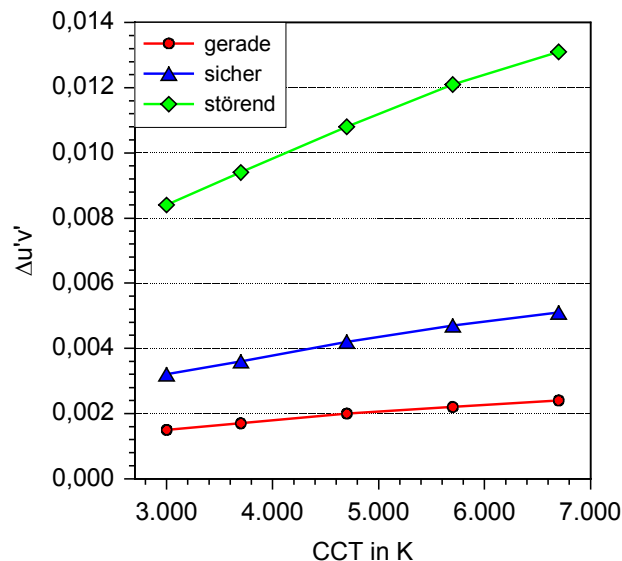


Abbildung 4: Schwellen- und Toleranzwerte für die Erkennung von Farbunterschieden bei der Variation entlang des Planckschen Kurvenzuges als Funktion der Farbtemperatur für konstante  $\Delta E^*_{ab}$ -Werte

Mit Hilfe einer linearen Regression lassen sich aus diesen Daten folgende Gleichungen für die unterschiedlichen Bewertungskriterien für die Lichtfarbenvariation entlang des Planckschen Kurvenzuges ableiten:

$$\text{gerade erkannt:} \quad \Delta u'v' = 0,0008 + CCT \cdot 2,44 \cdot 10^{-7} \quad (3)$$

$$\text{sicher gesehen:} \quad \Delta u'v' = 0,0017 + CCT \cdot 5,20 \cdot 10^{-7} \quad (4)$$

$$\text{störend empfunden:} \quad \Delta u'v' = 0,0046 + CCT \cdot 1,28 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Der Korrelationskoeffizient ist in jedem Falle  $R^2 \geq 0,995$ .

Ebenso lässt sich der Zusammenhang für den zulässigen Lichtfarbentoleranzbereich  $\Delta CCT$  in Abhängigkeit zur Farbtemperatur bestimmen, der in Abbildung 5 dargestellt ist.

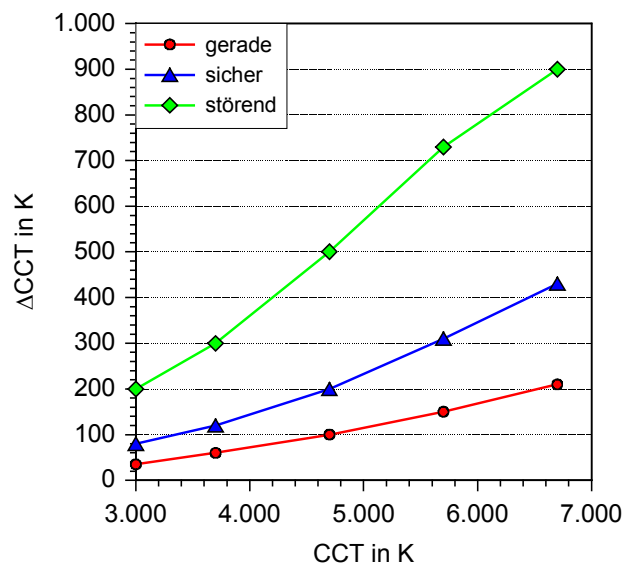


Abbildung 5: Schwellen- und Toleranzwerte für die Erkennung von Farbunterschieden bei der Variation entlang des Planckschen Kurvenzuges als Funktion der Farbtemperatur

Die lineare Regression ergab dafür folgende Gleichungen:

$$\text{gerade erkannt:} \quad \Delta CCT = CCT \cdot 0,047 - 113 \quad (6)$$

$$\text{sicher gesehen:} \quad \Delta CCT = CCT \cdot 0,0953 - 226 \quad (7)$$

$$\text{störend empfunden:} \quad \Delta CCT = CCT \cdot 0,1952 - 403 \quad (8)$$

Der Korrelationskoeffizient ist in jedem Falle  $R^2 \geq 0,992$ .

In Abbildung 6 sind die Regressionsgraden zusammen mit den Untersuchungsergebnissen dargestellt. Dabei zeigt sich eine gute Übereinstimmung.

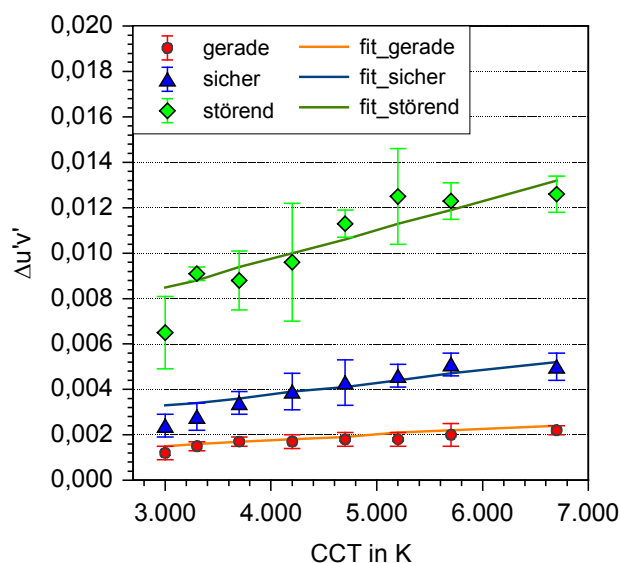


Abbildung 6: Vergleich der in der Untersuchung bestimmten Werte mit den Berechnungen der Gleichungen 3 bis 5

Auf der Basis der gefundenen Zusammenhänge sind damit Abschätzungen für die Steuerung dynamischer Beleuchtungssysteme möglich.

### 3.2.2 Variation der Lichtfarbe entlang der Juddschen Geraden

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Untersuchungen entlang des Planckschen Kurvenzuges wurde die Untersuchung zur Variation der Lichtfarbe entlang der Juddschen Geraden auf das Beleuchtungsniveau 500 lx und die Farbtemperaturen 3000 K, 3700 K, 4700 K und 6700 K beschränkt. 21 Probanden im Alter von 22 bis 59 Jahren bewerteten die dargebotenen sprunghaften Lichtfarbenveränderungen in drei Versuchsdurchgängen.

Die Farbunterschiede in Abhängigkeit vom Bewertungskriterium und von der Farbtemperatur sind im CIE-u'v'- und im CIE-LAB-System in Abbildung 7 dargestellt.

Anders als bei der Variation entlang des Planckschen Kurvenzuges zeigt sich im CIE-u'v'-System kein linearer Zusammenhang und im CIE-LAB-System ist die Unabhängigkeit zwischen den Schwell- und Toleranzwerten und der Farbtemperatur nicht eindeutig nachweisbar.

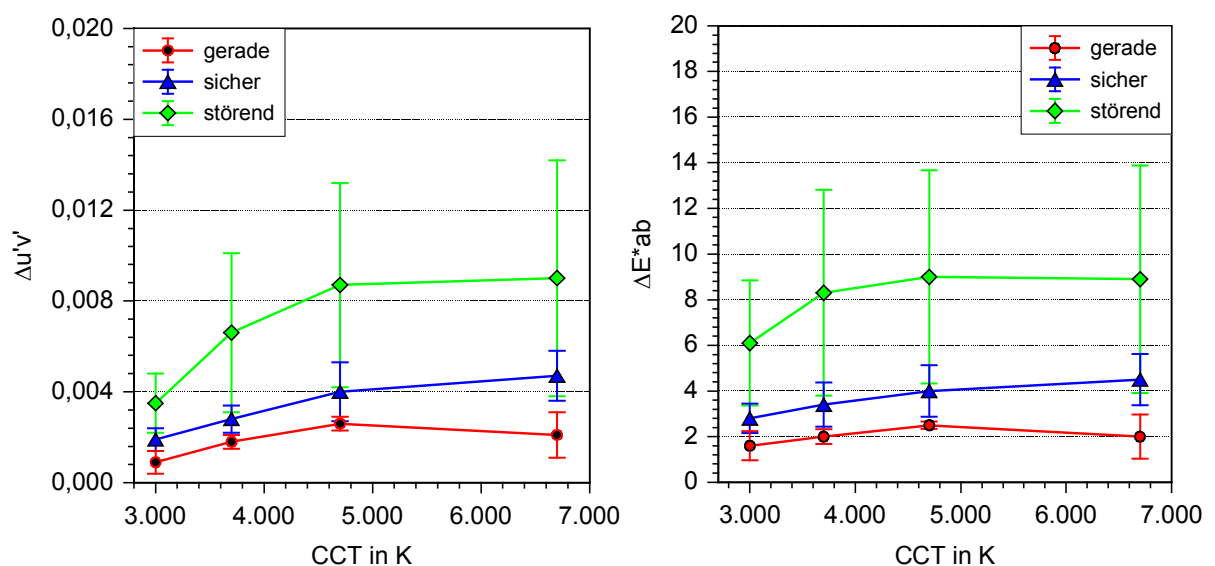


Abbildung 7: Variation entlang der Juddschen Geraden - Abhängigkeit von der Farbtemperatur für die Bewertungskriterien „gerade erkannt“, „sicher gesehen“ und „störend empfunden“ im CIE-u'v'-System (links) und im CIE-LAB-System (rechts)

Wird die Unabhängigkeit der Schwell- und Toleranzwerte im CIE-LAB-System angenommen, zeigt sich der in Abbildung 8 (links) dargestellte Zusammenhang im CIE-u'v'-Farbenraum. Deutlich zu erkennen ist ein nicht linearer Zusammenhang zur Farbtemperatur. Der Vergleich zu den in den Versuchen ermittelten Daten in Abbildung 8 (rechts) zeigt jedoch eine gute Übereinstimmung für alle Bewertungskriterien.



Als Orientierungswerte für die Schwell- und Toleranzwerte für die Wahrnehmung von Farbunterschieden bei der Lichtfarbenvariation entlang der Juddschen Geraden auf homogener Flächen gelten die in Tabelle 2 zusammengefassten Werte im CIE-LAB-System.

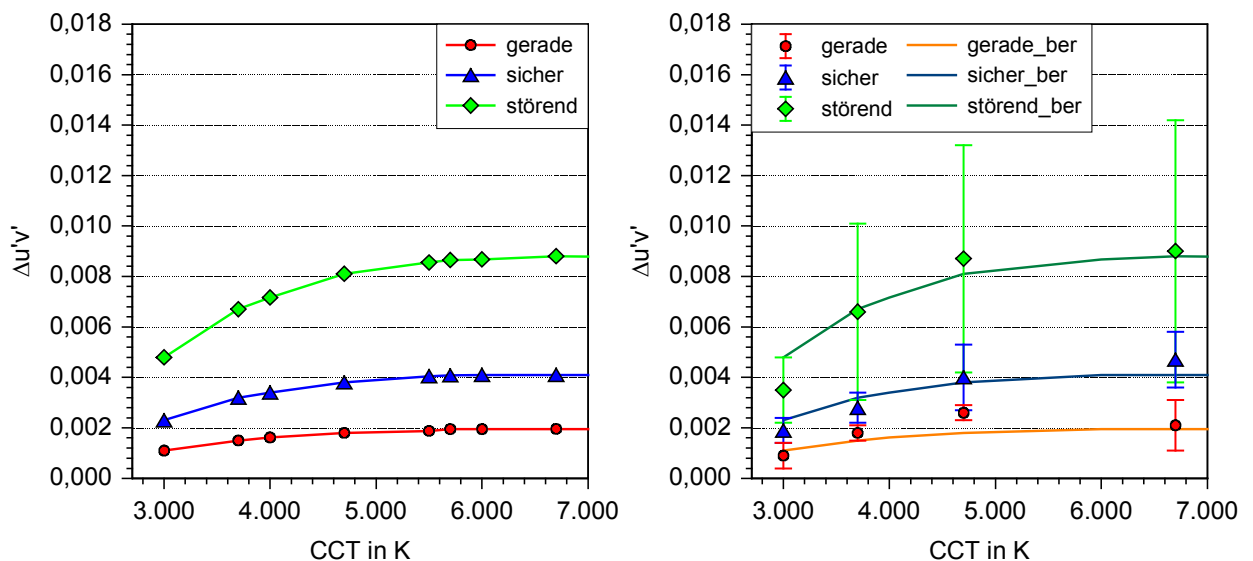


Abbildung 8: Abhängigkeit von der Farbtemperatur im CIE- $u'v'$ -System bei konstanten Schwell- und Toleranzwerten im CIE-LAB-System berechnet (links) und im Vergleich zu den Versuchsdaten (rechts)

Kriterium	<i>gerade erkannt</i>	<i>sicher gesehen</i>	<i>störend empfunden</i>
$\Delta E^*_{ab}$	1,8	3,5	7,8

Tabelle 2: Schwellen- und Toleranzwerte für die Erkennung von Farbunterschieden bei der Variation entlang der Juddschen Geraden, 21 Probanden

### 3.2.3 Lichtfarbentoleranzen zwischen Leuchten

Sobald Leuchten zur Realisierung von Lichtfarbenänderungen mit unterschiedlichen Einzelkomponenten bestückt sind, die sowohl ein unterschiedliches Dimmverhalten besitzen als auch unterschiedlichen Temperatureinflüssen unterliegen und Alterungserscheinungen zeigen, kann es zu Auswirkungen auf die Farfortstabilität kommen und die Farberscheinung der Leuchte beeinflussen. In einer Versuchsreihe wurden zulässige Schwell- und Toleranzwerte für Farbunterschiede zwischen benachbarten Leuchten untersucht [Luck06]. In der Mitte des Versuchsraumes stehend wurden nebeneinander liegende Leuchten durch Probanden bewertet. Die mittlere Leuchtdichte auf den Leuchtenoberflächen betrug  $L = 9300 \text{ cd/m}^2$ . Als Vergleichslichtfarbe diente eine Farbtemperatur von  $\text{CCT} = 4000 \text{ K}$ . Bezogen auf die weiße Referenzleuchte wurde die Lichtfarbe einer Vergleichsleuchte durch eine Zumischung von Licht roter, grüner oder blauer Leuchtstofflampen schrittweise verändert. Die bestimmten Schwell-

und Toleranzwerte sind in Tabelle 3 enthalten. Die angegebenen Werte wurden aus zwei Versuchsdurchgängen ermittelt.

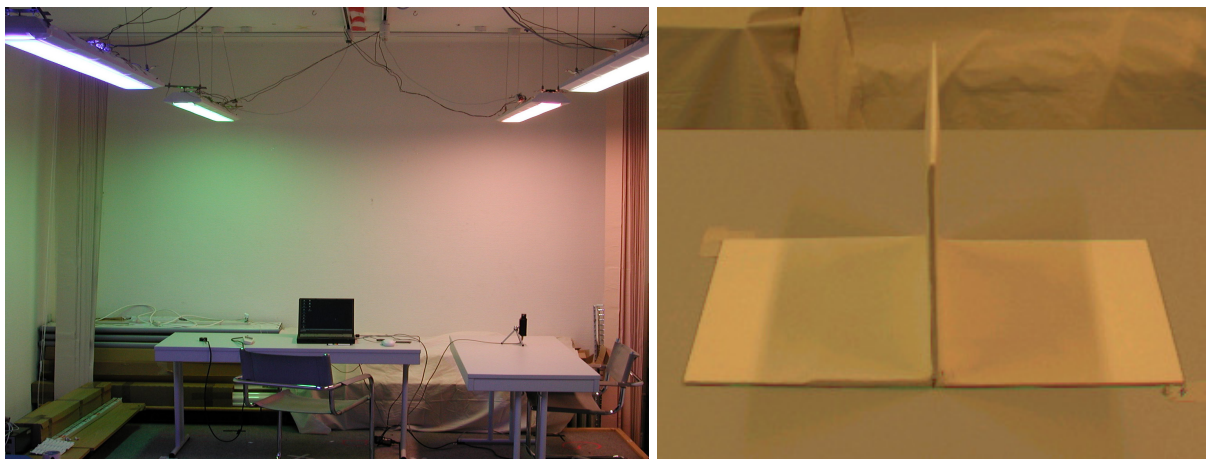
Kriterium	<i>gerade erkannt</i>	<i>sicher gesehen</i>	<i>störend empfunden</i>
$\Delta E^*_{ab}$	1,8	5,7	10,7
$\Delta u'v'$	0,0016	0,0049	0,0090

Leuchtenabstand: 1,6 m, Höhe über der Arbeitsfläche: 1,4 m

*Tabelle 3: Schwellen- und Toleranzwerte für die Erkennung von Farbunterschieden zwischen benachbarten Leuchten 3.2.3 Untersuchungen zur Lichtfarbenkombinationen*

### 3.2.4 Untersuchungen zur Lichtfarbenkombination

Werden unterschiedliche Beleuchtungssysteme gleichzeitig in einem Arbeitsbereich verwendet, werden große Farbenunterschiede zwischen dem Licht innerhalb eines Arbeitsbereichs nicht akzeptiert, sondern ähnliche Lichtfarben für die arbeitsplatzbezogene Beleuchtung und die Allgemeinbeleuchtung bevorzugt [Gall96], [Mark07]. Der Einsatz von mehreren Leuchten in einem Arbeitsbereich, die es erlauben, den Farbort zu variieren, kann je nach Anordnung und Ansteuerung der Leuchten im Raum zur Bildung farbiger Schatten führen. In einem Versuchsraum erfolgte eine Untersuchung auf einer homogenen Fläche an einem Schatten bildenden Objekt (Abbildung 9) bei einer Farbtemperatur von 4000 K und einem Beleuchtungsniveau von 500 lx. An der Untersuchung nahmen 25 Probanden im Alter von 20 bis 62 Jahren teil. Durch die schrittweise Veränderung der Lichtfarbe jeweils einer Leuchte wurden den Probanden unterschiedliche Beleuchtungssituation dargeboten, die in zwei Versuchsdurchgängen nach den Bewertungskriterien beurteilt wurde. Die auf diese Weise bestimmten Schwellen- und Toleranzwerte sind in Tabelle 4 für die kritischsten Werte zusammengefasst [Beie06].



*Abbildung 9: Versuchsraum (links) und Auswirkungen der farbigen Schattenbildung in der Arbeitsebene, anhand der hier beobachteten Farbunterschiede erfolgte die Bewertung durch die Probanden (rechts)*

Kriterium	<i>gerade erkannt</i>	<i>sicher gesehen</i>	<i>störend empfunden</i>
$\Delta E^*_{ab}$	1,6	2,4	8,5
$\Delta u'v'$	0,0007	0,0020	0,0072

*Tabelle 4: Schwellen- und Toleranzwerte für Farbunterschiede bei der Bildung von farbigen Schatten, Leuchtenabstand: 1,6 m, Höhe über der Arbeitsfläche: 1,4 m, 25 Probanden.*

Bei der Untersuchung zeigte sich, dass farbige Schatten kritischer bewertet werden als Farbunterschiede im Erscheinungsbild verschiedener Leuchten [Luck06], [Beie06], [Bies06].

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Der Vergleich der bestimmten Schwell- und Toleranzwerte in den verschiedenen Versuchssituationen zeigt, dass es bei den bestimmten Schwellwerten eine gute Übereinstimmung gibt. Die kleineren Schwellwerte bei der Betrachtung farbiger Schatten, kann ein Hinweis darauf sein, dass Farbunterschiede aneinandergrenzender Flächen kritischer bewertet werden, als zeitlich nacheinander dargebotenen Farbunterschiede, wie in den Versuchsreihen zur Lichtfarbenvariation entlang des Planckschen Kurvenzuges und der Juddschen Geraden, oder bei räumlich getrennten Flächen (Untersuchung zwischen Leuchten).

Basierend auf den gewonnenen Ergebnissen werden folgende Empfehlungen für dynamische Beleuchtungssysteme abgeleitet:

- Für niedrige Beleuchtungsniveaus werden keine wärmeren Lichtfarben bevorzugt. Folglich ist beim Absenken des Beleuchtungsniveaus der Übergang zu niedrigeren Farbtemperaturen nicht zwingend. Ebenso ist eine Erhöhung der Farbtemperatur nicht an höhere Beleuchtungsniveaus gekoppelt. Eher sollten beide Parameter – Beleuchtungsniveau und Farbtemperatur – für den Nutzer frei einstellbar sein.
- Der Variationsbereich für die Farbtemperatur liegt unter dem Gesichtspunkt des Gefallens und der bevorzugten Wahl im Mittel im Bereich zwischen 3800 K bis 6500 K, aber es werden auch Werte von 3000 K und 7800 K akzeptiert. Folglich sollte mit der Hybridlampe eine Farbtemperaturbereich zwischen 3000 K und 8000 K realisierbar sein. Auch vor dem Hintergrund gezielter photobiologischer Lichtwirkungen sind Variationsbereiche für die Parameter Farbtemperatur und Beleuchtungsniveau sinnvoll [Gall02].
- Lichtfarbenvariationen unterhalb der Schwellwerte sind sprunghaft möglich.
- Innerhalb eines Beleuchtungsbereiches sollten ähnliche Lichtfarben realisiert werden.
- Je größer der Abstand zwischen benachbarten Leuchten, um so kritischer ist die Bildung farbiger Schatten sobald die Lichtfarbe zwischen den Leuchten unterschiedlich ist.
- Zur Stabilität des Farbortes ist eine Regelung der Lichtfarbe sinnvoll.

---

## LITERATUR

- [Kalt05] KALTENBACH, A.: *Demonstratorentwicklung einer circadianen Beleuchtungssteuerung und Untersuchung zur Farbwahrnehmung von Lichtfarbenänderungen.*, Diplomarbeit TU Ilmenau, 2005
- [HaTr06] HANISCH, M.; TRALAU, B.: *Subjektive Bewertung von Beleuchtungssituationen mit einer Hybridlampe.* Medienprojekt Technische Universität Ilmenau 2006
- [Bies05] BIESKE, K.; KALTENBACH, A.: *Untersuchungen zur Wahrnehmung von Farbunterschieden.* Lux junior 2005, 23. bis 25.09.2005 Dörfeld/Ilm
- [Krui41] KRUIHOF, A.A.: *Tabular luminescence lamps for general illumination.* Philips Technical Review, 1941, 6(65)
- [Poll05] POLLE, D.; PICKELEIN, A.: *Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe.* Proceedings LUX Europa Berlin 2005, S. 379-381
- [Han03] HAN, S.; BOYCE, P.: *Illuminance, CCT, decor an the Kruithof curve.* Proceedings 25<sup>th</sup> Session of the CIE San Diego 2003, S. D3-178ff
- [DIN79] DIN 6174: Farbmimetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel. Beuth Verlag Berlin, Januar 1979
- [Mark07] MARKYTAN, A.: *Untersuchung zur zonalen Beleuchtung an Büroarbeitsplätzen.* Dissertation, Technische Universität Ilmenau 2007
- [Gall96] GALL, D.; VANDAHL, C.: »Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung am Arbeitsplatz«, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz: Forschung Fb 753, 1996
- [Beie06] BEIER, E.: *Lichtfarbenübergänge und farbige Schatten.* Projektarbeit Technische Universität Ilmenau 2006
- [Luck06] LUCKNER, H.: *Zulässige Farbtoleranzen zwischen Leuchten.* Projektarbeit Technische Universität Ilmenau 2006
- [Bies06] BIESKE, K.; WOLF, S.; NOLTE, R.: *Wahrnehmung von Farbunterschieden von Licht- und Körperfarben,* Licht 2006, 10. bis 13.09.2006 Bern
- [Gall02] GALL, D.: *Circadiane Größen und deren messtechnische Ermittlung.* Licht 54 (2002) 11/12, S. 1292 - 1297

### Autor:

Dipl.-Ing. Karin Bieske  
Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet Lichttechnik  
Postfach 10 06 65  
98684 Ilmenau

Mail: Karin.Bieske@TU-Ilmenau.de